

★TOHO- P31;S05 2002-078398/11 ★JP 2001276005-A  
**Muscular activity evaluation device for physiotherapy, measures oxygen consumption coefficient of electrically stimulated tissue from oximeter measurement and amplitude of electromyograph**

TOHOKU TECHNOARCH KK 2000.04.04 2000JP-102692

(2001.10.09) A61B 5/0488, A61B 5/145, 5/22

**Novelty:** An oximeter (130) measures the amount of oxygenated and deoxygenated hemoglobin from an electrically stimulated muscular tissue. An electromyograph records an electromyogram (160) induced by the tissue. The oxygen consumption coefficient is estimated from the amplitude of electromyogram and oximeter measurement, to judge muscular activity.

**Detailed Description:** An INDEPENDENT CLAIM is also included for fatigue degree evaluation device.

**Use:** For use in physiotherapy to evaluate effectiveness of motor-nerve movement of patient's recovery from paralysis such as quadriplegia, paraplegia, hemiplegia and for patients suffering from cerebral apoplexy, spinal injury. Also for evaluating fatigue degree of muscles in rehabilitation training centers, for normal and sportsmen.

**Advantage:** Evaluates fatigue degree by investigating reduction of activity of muscle during electrical stimulation.

**Description of Drawing(s):** The figure shows an experimental setup of oxygen consumption coefficient evaluation using the muscular activity evaluation device. (Drawing includes non-English language text).

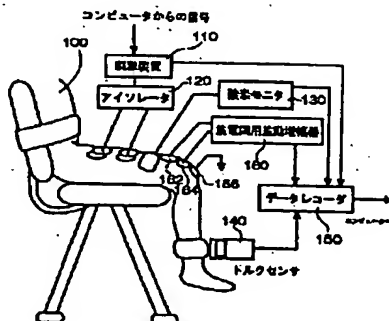
Oximeter 130

Electromyogram 160

(8pp Dwg.No.4/9)

N2002-057901

S05-D01A; S05-D01C



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-276005  
(P2001-276005A)

(43) 公開日 平成13年10月9日 (2001. 10. 9)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	テーム(参考)
A 6 1 B	5/0488	A 6 1 B	5/22 Z 4 C 0 2 7
	5/145		5/04 3 3 0 4 C 0 3 8
	5/22		5/14 3 1 0

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-102692(P2000-102692)

(22) 出願日 平成12年4月4日 (2000. 4. 4)

特許法第30条第1項適用申請有り 1999年10月6日 社団法人計測自動制御学会発行の「第14回生体・生理工学シンポジウム論文集」に発表

(71) 出願人 899000035

株式会社 東北テクノアーチ

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468番地

(72) 発明者 星宮 望

宮城県仙台市若林区南小泉二丁目2-15

(72) 発明者 渡邊 高志

宮城県名取市ゆりが丘一丁目23-2

(72) 発明者 上村 龍文

東京都江戸川区中葛西8-23-5 第2号

田川ビル403号

(74) 代理人 100098729

弁理士 重信 和男 (外1名)

Fターム(参考) 4C027 AA04 DD03 GG07 GG15 HH21

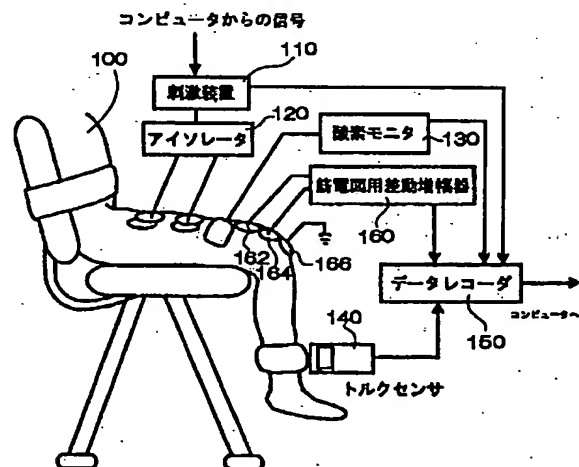
4C038 KK01 KL07 KX02

(54) 【発明の名称】 筋の活動度又は疲労度の評価装置

(57) 【要約】

【課題】代謝系の活動を反映した筋の活動度の評価

【解決手段】電気刺激として、コンピュータ（図示せず）からの制御により、刺激装置110からの電気刺激信号をアイソレータ120を介して、表面電極122から印加する。酸素消費は、近赤外光を利用した装置130等により、センサ132からの信号から測定する。電極162、164、166および筋電図用差動増幅器160により、誘発筋電図（M波）を測定する。電気刺激による活動は、トルクセンサ140からの信号をデータレコーダ150で記録している。各測定結果は、コンピュータ（図示せず）にも入力されている。これらの測定系からの測定結果を評価して、筋の活動度評価を得ることができる。



(2)

特開 2001-276005

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 末梢の神経・筋への電気刺激中に、筋の活動度を評価する筋の活動度評価装置において、末梢の神経・筋へ電気刺激する電気刺激手段と、筋組織中の酸素化ヘモグロビン量と脱酸素化ヘモグロビン量を計測する酸素計測手段と、被刺激筋の誘発筋電図（M波）を計測するM波測定手段と、

前記電気刺激手段および前記測定手段と接続された、制御・評価手段とを備え、

末梢の神経・筋への電気刺激中に、筋組織中の酸素化ヘモグロビン量と脱酸素化ヘモグロビン量を計測して、酸素消費速度を推定するとともに、被刺激筋の誘発筋電図（M波）を計測して、誘発筋電図（M波）の振幅値を求めることにより、前記振幅値と推定した前記酸素消費速度とから筋の活動度を評価することを特徴とする筋の活動度評価装置。

【請求項 2】 末梢の神経・筋への電気刺激中に、筋の疲労度を評価する筋の疲労度評価装置において、末梢の神経・筋へ電気刺激する電気刺激手段と、被刺激筋の誘発筋電図（M波）を計測するM波測定手段と、

前記電気刺激手段および前記測定手段と接続された、制御・評価手段とを備え、

末梢の神経・筋に対して電気刺激する刺激パルス列に追加のパルスを挿入して、刺激パルス列の一部をダブルパルスとし、前記ダブルパルスの第2パルスにより誘発された筋電図（M波）の振幅を計測し、前記振幅から筋疲労を評価することを特徴とする疲労度評価装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、機能的電気刺激（FES）による麻痺肢の運動機能再建を行う際における、筋の活動度及び疲労度の客観的な評価に関するものである。

【0002】

【発明の技術的背景】機能的電気刺激（FES）は、脳卒中や脊髄損傷等による上位運動神経の損傷に伴う運動機能麻痺に対して、臨床的有效性が世界的に認識されている。機能的電気刺激（FES）による麻痺肢の運動機能再建は、国内外で臨床適用が行われている。国内で行われている運動機能再建の場合には、健康者の動作筋電図をもとに作成した刺激データを用いた開ループ制御による機能的電気刺激（FES）が行われている。これにより、四肢麻痺者の肘関節、手関節、手指の制御、片麻痺者の肩関節を含む上肢全体の制御、対麻痺者の起立、歩行の制御などが可能になっている。従来、機能的電気刺激（FES）による麻痺肢の動作再建を行う際には、使用者である患者自身、あるいは医療スタッフや介護者が再建動作を視覚により確認し、筋の活動度や疲労度を

2

評価していた。また、医療スタッフや介護者は、電気刺激により四肢が発生する力や、補助の際に受ける力を自身の感覚で判断し、筋の活動度や疲労度を評価することも行っていた。しかしながら、筋の活動度や疲労度の評価は、患者自身、あるいは医療スタッフや介護者の主観に依存しており、客観的に評価する有効な方法がなかった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、電気刺激中の筋内の酸素化ヘモグロビン量、脱酸素化ヘモグロビン量、誘発筋電図（M波）を計測し、筋の活動度及び筋の疲労度を客観的に評価するものである。

【0004】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、末梢の神経・筋への電気刺激中に、筋の活動度を評価する筋の活動度評価装置において、末梢の神経・筋へ電気刺激する電気刺激手段と、筋組織中の酸素化ヘモグロビン量と脱酸素化ヘモグロビン量を計測する酸素計測手段と、被刺激筋の誘発筋電図（M波）を計測するM波測定手段と、前記電気刺激手段および前記測定手段と接続された、制御・評価手段とを備え、末梢の神経・筋への電気刺激中に、筋組織中の酸素化ヘモグロビン量と脱酸素化ヘモグロビン量を計測して、酸素消費速度を推定するとともに、被刺激筋の誘発筋電図（M波）を計測して、誘発筋電図（M波）の振幅値を求めることにより、前記振幅値と推定した前記酸素消費速度とから筋の活動度を評価することを特徴とする。末梢の神経・筋への電気刺激中に、筋の疲労度を評価する筋の疲労度評価装置において、末梢の神経・筋へ電気刺激する電気刺激手段と、被刺激筋の誘発筋電図（M波）を計測するM波測定手段と、前記電気刺激手段および前記測定手段と接続された、制御・評価手段とを備え、末梢の神経・筋に対して電気刺激する刺激パルス列に追加のパルスを挿入して、刺激パルス列の一部をダブルパルスとし、前記ダブルパルスの第2パルスにより誘発された筋電図（M波）の振幅を計測し、前記振幅から筋疲労を評価することを特徴とする。

【0005】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。酸素化ヘモグロビン量、脱酸素化ヘモグロビン量から酸素消費速度（ $v_{con}$ ）を求める方法についてまず、以下に概要を述べる。図1は、近赤外光を利用した装置などの計測範囲内における酸素化ヘモグロビンの動態を模式的に示した図である。図1に示すように、表面の皮膚10とその内部の筋組織20との中間に、計測範囲30が存在する。この計測範囲30において、時刻 $t$ での計測範囲内の酸素化ヘモグロビン量を $Oxy(t)$ とし、計測範囲30への酸素化ヘモグロビン流入速度を $v_{oi}(t)$ 、計測範囲30からの酸素化ヘモグロビン流出速度を $v_{oo}(t)$ とすると、酸素

(3)

特開2001-276005

3  
化ヘモグロビン消費速度  $v_{oc}(t)$  は次式で表される。

【数1】

$$v_{oc}(t) = v_{oi}(t) - v_{oo}(t) - \frac{d}{dt} O_{xy}(t) \quad (1)$$

\*

$$v_{oi}(t) = \text{FlowIN}(t) \times \text{SdO}_2 \text{ IN}(t) \quad (2)$$

$$v_{oo}(t) = \text{FlowOUT}(t) \times \text{SdO}_2 \text{ OUT}(t) \quad (3)$$

$\text{FlowIN}(t)$ ,  $\text{FlowOUT}(t)$  は、時刻  $t$  での流入、流出する総ヘモグロビン流速であり、 $\text{SdO}_2 \text{ IN}(t)$ ,  $\text{SdO}_2 \text{ OUT}(t)$  は計測範囲での流入、流出するヘモグロビンの酸素化率である。

【0006】一般に、時刻  $t$  での酸素化率  $\text{SdO}_2(t)$  は、次式で求められる。

【数3】

$$\text{SdO}_2(t) = \frac{O_{xy}(t)}{O_{xy}(t) + dO_{xy}(t)} \times 100(\%)$$

※

$$\begin{cases} \text{SdO}_2 \text{ IN}(t) = \text{SdO}_2(0) + \Delta \text{SdO}_2 \times \frac{t}{T_s} & (t \leq T_s) \\ \text{SdO}_2 \text{ IN}(t) = \text{SdO}_2(0) + \Delta \text{SdO}_2 & (t > T_s) \end{cases} \quad (4)$$

$T_s$  は、安静時の酸素化率が筋収縮により変化してから一定値になるまでの刺激開始からの経過時間であり、 $\Delta \text{SdO}_2$  は刺激開始から時間  $T_s$  までの  $\text{SdO}_2$  の変化分である。 $\text{FlowIN}(t)$ ,  $\text{FlowOUT}(t)$  ★

$$\text{FlowIN}(t) = B + \frac{1}{2} \times \frac{d}{dt} T_H(t) \quad (5)$$

$$\text{FlowOUT}(t) = B - \frac{1}{2} \times \frac{d}{dt} T_H(t) \quad (6)$$

$B$  は、計測範囲での総ヘモグロビン量の変化が無い場合の総ヘモグロビン流速を表す。

【0007】 $B$  の値は、一定時間刺激を加えた後、刺激を止めた場合の酸素化ヘモグロビンの変化量から決定される。つまり、刺激終了後は筋の活動がなく  $v_{oc}$  ★

$$\frac{d}{dt} O_{xy}(t) = v_{oi}(t) - v_{oo}(t)$$

4  
\*  $(d/dt) O_{xy}(t)$  は単位時間あたりの酸素化ヘモグロビン量の変化量であり、計測する酸素化ヘモグロビン量の時間変化により近似する。また、 $v_{oi}(t)$ ,  $v_{oo}(t)$  を次式により推定する。

【数2】

10※  $dO_{xy}(t)$  は脱酸素化ヘモグロビン量である。 $\text{SdO}_2 \text{ OUT}(t)$  は、各時刻での計測範囲内の酸素化率  $\text{SdO}_2(t)$  に等しいとする。また、 $\text{SdO}_2 \text{ IN}(t)$  は、次式で表される。

【数4】

★は、総ヘモグロビン量 ( $T_{t1}$ ) の時間変化から次式により求める。

【数5】

☆  $(t) = 0$  となり、計測範囲内の酸素化ヘモグロビン量の時間変化は流入、流出する酸素化ヘモグロビン量によってのみ影響を受けるとすると、(1)式から次式が得られる。

【数6】

上式に (2) ~ (6) 式を代入して、 $(d/dt) O_{xy}(t)$  を求める。そして、近赤外光を利用した装置などにより測定した  $O_{xy}(t)$  の値から  $(d/dt) O_{xy}(t)$  を求め、それらの差が最小になるように ◆

40◆ (5), (6) 式の  $B$  の値を決定する。

【0008】以上により酸素化ヘモグロビン消費速度  $v_{oc}(t)$  は次式となる。

【数7】

$$\begin{aligned} v_{oc}(t) &= \left( B + \frac{1}{2} \times \frac{d}{dt} T_H(t) \right) \text{SdO}_2 \text{ IN}(t) - \left( B - \frac{1}{2} \times \frac{d}{dt} T_H(t) \right) \text{SdO}_2(t) - \frac{d}{dt} O_{xy}(t) \\ &\begin{cases} \text{SdO}_2 \text{ IN}(t) = \text{SdO}_2(0) + \Delta \text{SdO}_2 \times \frac{t}{T_s} & (t \leq T_s) \\ \text{SdO}_2 \text{ IN}(t) = \text{SdO}_2(0) + \Delta \text{SdO}_2 & (t > T_s) \end{cases} \end{aligned}$$

ここで、一般的な環境下で、ヘモグロビン  $1\text{g}$  は  $1.34\text{ml}$  の酸素を結合することを考慮すると、次式により

酸素消費速度  $v_{con}(t)$  が算出される。

【数8】

(4)

特開2001-276005

$$vcon(t) = 1.34 \times voc(t)$$

【0009】<筋の活動度評価>筋の活動度を表す指標(MAI)を求める方法を、以下に簡単に述べる。定量的な評価を行うためには、一定刺激強度の電気刺激を与え、上記(1)で述べた酸素消費速度、被刺激筋の誘発筋電図(M波)の振幅値を計測する。まず、M波の振幅値から、次式により指標MI<sub>1</sub>を求める。

【数9】

$$MI_1(t) = \frac{V_{pp}(t)}{V_{ppMAX}} \cdot a_1 + a_2$$

V<sub>pp</sub>(t)は各時刻でのM波の振幅のピークピーク値、\*

$$MAI = MI_1 \cdot \alpha(t) + MI_2 \cdot \beta(t)$$

$$\begin{cases} \alpha(t) = 1, & \beta(t) = 0 & (t < T_1) \\ \alpha(t) = \left( \frac{T_2 - t}{T_2 - T_1} \right) \cdot \beta(t) = \left( \frac{t - T_1}{T_2 - T_1} \right) & (T_1 \leq t \leq T_2) \\ \alpha(t) = 0, & \beta(t) = 1 & (t > T_2) \end{cases}$$

α(t)はMI<sub>1</sub>のMAIへの寄与率、β(t)はMI<sub>2</sub>のMAIへの寄与率を表す。上式で表されるα(t)とβ(t)とを図示したのが図2である。最大の刺激強度を一定に与え続けるとき、MAI=1は筋の活動度が最大であることを示し、MAI=0は筋の活動がないことを示す。また、MAIが低下することは筋の疲労度が増加することを示すので、一定刺激中のMAIの時間変化を求めることによって、筋の疲労度を評価することも可能になる。

【0011】<筋疲労の評価>機能的電気刺激(FES)または治療的電気刺激(TES)において、刺激パルス列に追加のパルスを挿入し、刺激パルス列の一部をダブルパルスとする。そのダブルパルスの第2パルスにより誘発された筋電図(M波)の振幅を計測し、その時間変化の様子から筋疲労を評価する方法を以下に簡単に述べる。追加パルスを含む刺激パルス列の一例を図3に※

ここで、iはパルス間間隔(IPI)の種類を表し、V<sub>2nd</sub><sup>i</sup>(t)はあるパルス

間間隔(IPI)でのV<sub>2nd</sub>を、その最大値で規格化したものである。ある時刻でのダブルパルスは1つであるので、その時刻付近での他のIPIのダブルパルスによるV<sub>2nd</sub>を同一時刻のものとして計算する。FI<sub>2nd</sub>=0の場合は、筋疲労が生じていない状態で、FI<sub>2nd</sub>=1の場合は筋疲労が最大に生じていることを示す。

【0013】&lt;本発明の特徴&gt;

(1)電気刺激中の筋の活動度は、等尺性条件下で計測した筋張力または筋が発生する関節トルクをもとに評価されていた。これに対し、本発明では、酸素化ヘモグロビン量と脱酸素化ヘモグロビン量を計測し、酸素消費速度を求めることによって、代謝系の活動を反映した筋の活動度を評価している。

(2)等尺性条件下での筋張力、関節トルクを利用する

\*V<sub>ppMAX</sub>はM波のピークピーク値の最大値、a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>は定数である。上記で求めた酸素消費速度から、次式により指標MI<sub>2</sub>を求める。

【数10】

$$MI_2(t) = \frac{vcon(t)}{vcon_{MAX}} \cdot b_1 + b_2$$

vcon(t)は各時刻での酸素消費速度、vcon<sub>MAX</sub>は酸素消費速度の最大値、b<sub>1</sub>、b<sub>2</sub>は定数である。

10 【0010】上記の指標MI<sub>1</sub>、MI<sub>2</sub>を用いて、筋の活動度を表す指標MAIを次式により求める。

【数11】

※示す。追加パルスは、図3(b)に示されるダブルパルスのパルス間間隔(IPI)が、2~15ms程度の範囲になるように挿入される。一連の刺激パルス列には、3~4種類のパルス間間隔(IPI)を用いている。ダブルパルスの第2パルスによるM波は、ダブルパルスによるM波から、ダブルパルスの直前の刺激パルスによるM波を減算することにより求める。

【0012】n種類のパルス間間隔(IPI)を含む刺激パルス列により得られたダブルパルスの第2パルスによるM波のピークピーク値(V<sub>2nd</sub>)を用いて、次式により筋疲労に関する指標FI<sub>2nd</sub>(t)を求める。

【数12】

$$FI_{2nd} = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{ \hat{V}_{2nd}^i(t) \}^2$$

【外1】

場合には、計測のための姿勢などの制限を受ける。しかし、評価指標MAIを用いる場合には、姿勢の制限を受けず、筋の活動度、疲労度を容易に、かつ客観的に評価することが可能になる。

(3)誘発筋電図(M波)と酸素消費速度を組み合わせることによって、電気刺激を長時間継続した場合でも、精度良く筋の活動度を評価することが可能になる。

(4)ダブルパルスの第2パルスによるM波の振幅値変化に着目することによって、筋疲労を早期に検出することが可能になる。

(5)上記(1)~(4)の作用から、筋の活動度あるいは筋の疲労度を考慮しながら、FESによる動作再建、TESによる訓練を行うことが可能になる。

(6)筋の疲労度を客観的に評価できれば、FESによ

(5)

特開2001-276005

7

8

る動作再建時の患者に加わる危険(例えば、下肢の運動機能再建の場合の転倒など)を回避することが容易になり、FESの臨床的普及を促進することができ、麻痺者の日常生活での自立や社会参加の一助となる。

【0014】

【実施例】(1)酸素消費速度 $v_{con}$ 

健康男性1名を対象に、電気刺激中の等尺性条件下での筋の発生トルクを計測し、同時に、近赤外光を利用した装置(酸素モニタ)により酸素化ヘモグロビン量及び脱酸素化ヘモグロビン量を計測して酸素消費速度を求めた。図4に測定系の概要を、図5に測定結果の一例を示す。図4において、電気刺激として、コンピュータ(図示せず)からの制御により、刺激装置110からの電気刺激信号をアイソレータ120を介して、表面電極122から印加する。酸素消費は、近赤外光を利用した装置130等により、センサ132からの信号から測定する。電気刺激による活動は、トルクセンサ140からの信号をデータレコーダ150で記録している。各測定結果は、コンピュータ(図示せず)にも入力されている。印加される電気刺激信号は、図5(a)に示した刺激振幅(パルス幅0.3ms、周波数20Hz)で、被験者100の右外側広筋を電気刺激している。刺激強度は最大とした。図5(c)に示されているように、得られた酸素消費速度 $v_{con}$ は、図5(b)に示されるトルクの変化と同様な変化を示している。酸素消費速度 $v_{co}$ \*

\*nの最大値は約90 [ $\mu\text{l}/100\text{g}/\text{s}$ ]であった。最大随意活動時の酸素消費速度の生理学的標準値は約66~99 [ $\mu\text{l}/100\text{g}/\text{s}$ ]であり、本法により得られた結果は妥当な値を示している。

【0015】(2)筋の活動度MAI

健康男性3名を対象に、電気刺激中の酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビン、誘発筋電図(M波)、筋の発生トルクを等尺性条件下で計測し、筋の活動度を表す指標MAIを求め、等尺性筋トルクと比較した。図6に測定系の概要を、図7に測定結果から求めた筋の活動度MAIを最大トルクで規格化したトルクとともに示す。図6に示した測定系は、図4の測定系に誘発筋電図(M波)の測定用のために、電極162、164、166および筋電図用差動増幅器160を追加した構成である。印加する電気刺激は定電流刺激とし、10秒間で最大刺激振幅まで増加させ、その後、その値を保持している。刺激信号のパルス幅は0.3msで、刺激周波数は20Hzである。図7に示すように、長時間にわたり、MAIが等尺性トルクを近似できていることがわかる。この図7に示されるような結果から、等尺性トルクを計測しなくても、MAIを用いることによって筋の活動度を評価できることがわかる。ここで、指標 $MI_1$ 、 $MI_2$ 、及びMAIについて、規格化トルクとのRMS差を次式により求めた。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\epsilon(i) - Index)^2} \times 100$$

【外2】

$\epsilon(i)$ は規格化トルクで、Indexは対象とする指標を意味する。この結果を下記

の表1に示す。表内の数値は、各被験者ごとの4回の実験結果の平均値及び標準偏差を示す。これより、 $MI_1$ のみを用いた場合でも比較的良い評価を行える可能性があることが確認されるが、 $MI_1$ と $MI_2$ を組み合わせ※

※たMAIを用いることによって、さらに精度良く評価を行うことが可能になることを確認できる。

【表1】

評価指標 $MI_1$ 、 $MI_2$ 、MAIと規格化トルクとのRMS差(mean±SD)

	被験者1	被験者2	被験者3
$MI_1$	7.3±0.5	7.9±1.3	12.2±1.9
$MI_2$	10.1±2.42	10.3±1.59	10.7±0.65
MAI	4.74±0.13	5.41±0.93	9.05±0.36

【0016】(3)筋の疲労度 $FI_{...}$ 

健康男性4名で、表面電極による右外側広筋への定電流刺激により発生した筋張力及び誘発筋電図(M波)を等尺性条件下で計測した。実験系の概略を図8に示す。図8の測定系は、図7に示した測定系から、酸素消費のための酸素モニタ130等を取り除いたものである。印加する電気刺激は、図3に示したように、周波数20Hz、パルス幅0.3msの刺激パルス列に一定の周期( $T_d=0.5\text{s}$ )で追加パルスを挿入し、刺激パルス

列の一部をダブルパルスとした。刺激パルス列に含めたダブルパルスのパルス間間隔( $IPI$ )は、3ms、5ms、10msの3種類、またはそれらに2msを加えた4種類のいずれかの組を用いた。刺激振幅は張力が最大になる値、または被験者が耐え得る最大値までランプ状に増加させ、その後その値を保持した。3種類の $IPI$ (3ms、5ms、10ms)により得られたダブルパルスの第2パルスによるM波の振幅の $V_{...}$ を用いて、筋の疲労度を表す指標 $FI_{...}(t)$ を求めた。こ

9

の結果の一例を図9に示す。また、図9には、過去の報告をもとに次式で求めた各時刻での疲労指数 (FI) も示した。

【数14】

$$FI(t) = \frac{\tau_{max} - \tau_m(t)}{\tau_{max}}$$

$\tau_{max}$  は最大筋トルクで、 $\tau_m(t)$  は時刻  $t$  での測定筋トルクである。

【0017】全ての測定結果で、刺激開始直後から FI が徐々に増加した。筋トルクの減少の様子は 70～80 s を境に異なって観測され、その時刻の前では筋トルクが大きく減少した。4名の被験者で、 $FI_{1st} = 0.8$  になる時刻は 39.9～51.7 s ( $44.2 \pm 4.84$  s) で、そのときの FI は 0.049～0.261 ( $0.144 \pm 0.08$ ) であった。このように、FI が小さい時 (筋トルクが大きく減少する前) から  $FI_{1st}$  は大きな値を示した。このことから、FI では検出できない早期の疲労を推定することが可能になる。また、FI では検出が遅れがちな筋トルクの急激な低下に 20 関連した情報を得ることも可能になる。

【0018】

(6)

特開 2001-276005

10

\*【発明の効果】一定刺激強度の電気刺激中に、筋の活動度の低下を調べることによって、筋の疲労度を評価することが可能になる。麻痺患者に限らず、その他の患者のリハビリテーション訓練や、健常者を含むスポーツの訓練などの休憩時間に、筋の疲労度を評価することへの利用可能性がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】酸素化ヘモグロビンの動態の模式図である。

【図2】筋活動指数 MAI に対する  $MI_1$  と  $MI_2$  の寄与率  $\alpha(t)$  および  $\beta(t)$  を示す図である。

【図3】刺激パルス列の例を示す図である。

【図4】酸素消費速度の計測のための実験系を示す図である。

【図5】酸素消費速度の経時変化を示す図である。

【図6】筋内局所酸素代謝と誘発筋電図の同時計測の実験系を示す図である。

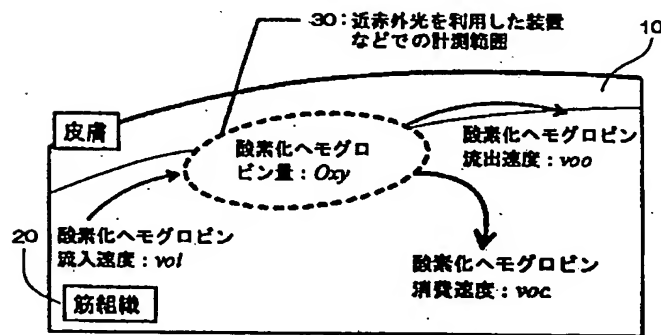
【図7】筋の発生トルクと MAI の経時変化を示す図である。

【図8】誘発筋電図の計測のための実験系を示す図である。

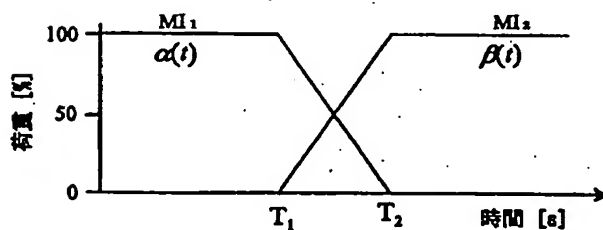
【図9】M波を用いた筋の疲労度と従来の評価の経時変化を示す図である。

\*

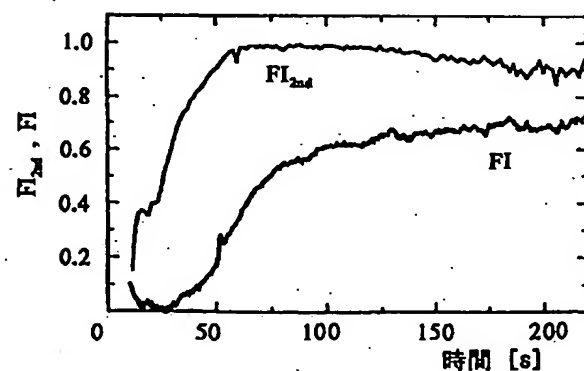
【図1】



【図2】



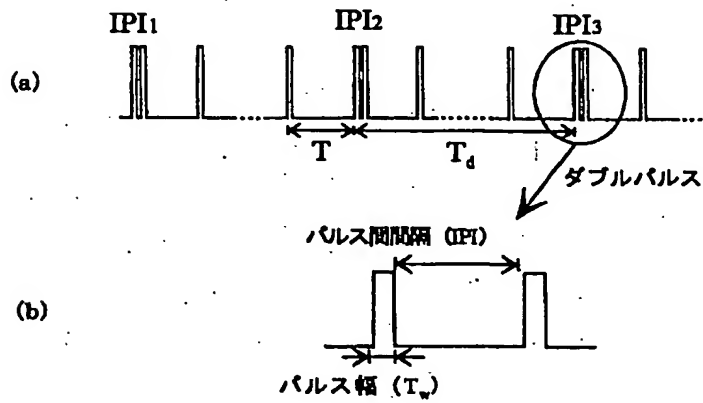
【図9】



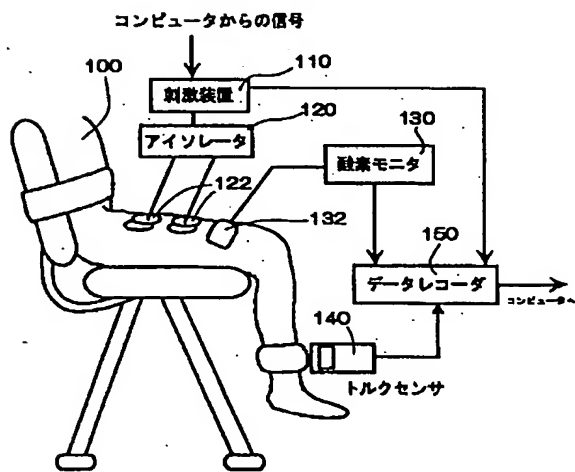
(7)

特開2001-276005

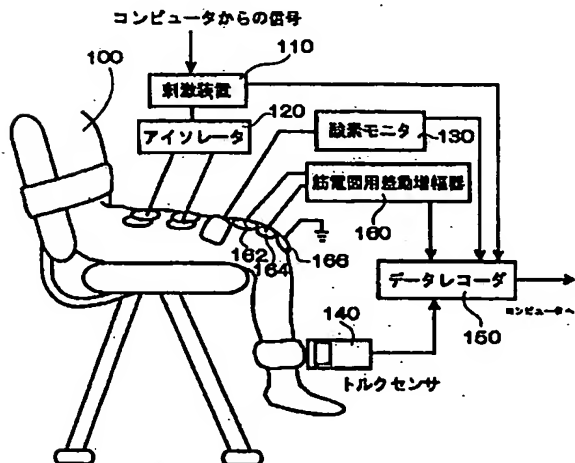
【図3】



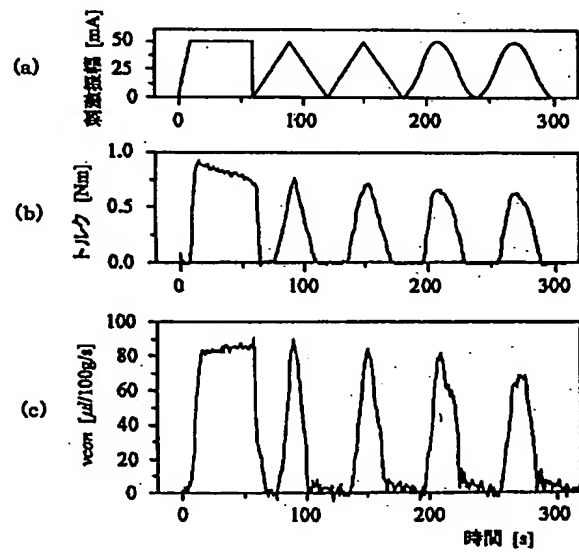
【図4】



【図6】



【図5】

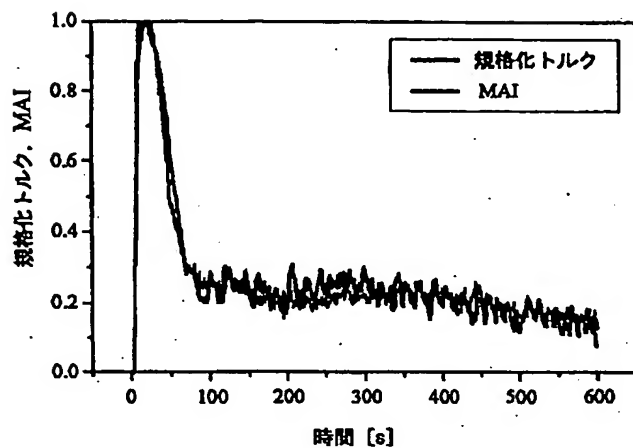




(8)

特開2001-276005

【図7】



【図8】

